

# POSIBLES CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMATICO GLOBAL EN BOSQUES DE LAGO PUELO

OLGA E. SCARPATI<sup>(1)</sup> y ANA M. FAGGI<sup>(2)</sup>

Recibido: 24/08/95

Aceptado: 08/07/96

## RESUMEN

Se caracteriza topoclimáticamente los habitats del bosque mixto de coihue (*Nothofagus dombeyi*) y ciprés (*Austrocedrus chilensis*), del mixto con especies valdivianas y del de lenga (*Nothofagus pumilio*) en el Parque Nacional y Reserva Estricta Lago Puelo.

Se analiza la posible consecuencia del cambio climático en la distribución y composición de dichos bosques. De mantenerse las tendencias que en la actualidad se observan para la temperatura y la precipitación, el clima en el año 2030 sería más húmedo, más frío en el invierno y más caluroso en el verano.

La vegetación debería sufrir cambios para alcanzar un nuevo equilibrio, el cual tentativamente favorecería a la lenga y a especies higrófilas como *Pilgerodendron uviferum*, *Fitzroya cupressoides*, *Luma apiculata* y *Myrceugenia exsucca*.

**Palabras clave:** Topoclima, cambio global, *Nothofagus* spp., *Austrocedrus chilensis*.

## PROBABLE IMPACT OF CLIMATE GLOBAL CHANGE ON PUELO LAKE FORESTS

## SUMMARY

Topoclimate of *Nothofagus dombeyi*-*Austrocedrus chilensis*, *N. pumilio* and evergreen valdivian forests in National Park and Reserve Lago Puelo were studied.

The probable incidence of global change in the distribution and composition of these forests is discussed.

Present temperature and rain tendencies allow to predict a more humid climate for year 2030. Summer temperatures are expected to rise, while winters might be colder. These changes should have an impact on vegetation: *Nothofagus pumilio* forest and hygrophilous species like *Pilgerodendron uviferum*, *Fitzroya cupressoides*, *Luma apiculata* and *Myrceugenia exsucca* are expected to enlarge their areas in comparison with the present time.

**Key words:** Topoclimate, global change, *Nothofagus* spp., *Austrocedrus chilensis*

## INTRODUCCION

La Conferencia Internacional organizada por United Nations Environment Programme, World Meteorological Organization e International Council Scientific Union (UNEP/WMO/ICSU) celebrada en 1985 concluyó que para la primera mitad del próximo siglo era previsible el aumento de la temperatura media del aire, debido al incremento de las concentraciones de algunos gases específicos en la

atmósfera. Su legado (1986) fue que, en investigación, los esfuerzos futuros deberían concentrarse en los problemas del impacto del calentamiento global en los climas regionales y en las consecuencias que se producirían en las actividades humanas. Surge así, la importancia de los estudios mesoclimáticos, por cuanto los modelos de circulación general para el cambio global no tienen suficiente resolución para explicar los cambios regionales previsibles (WMO, 1994).

<sup>(1)</sup>CIBIOM-CONICET, Fac. H. y Cs. Ed., UNLP. <sup>(2)</sup>CEFYO-CONICET, Serrano 669, 1414 Buenos Aires

Como un aporte a la atinada sugerencia de la Conferencia antes mencionada, se esboza el posible efecto del cambio global en la composición de bosques climáticos en un parque nacional andino-patagónico, cuyo inventario de comunidades y especies era conocido (Faggi, 1994).

Para cumplir el objetivo fue necesario conocer en primer término cuales eran las condiciones climáticas actuales reinantes en cada tipo de bosque. Así se caracterizó al área a través de su topoclima y los parámetros definidos se relacionaron con las características y la distribución de las comunidades. Un segundo aspecto fue considerar el probable efecto del cambio global tanto en los elementos climáticos (temperatura del aire y precipitación) como en los parámetros de vegetación.

El Parque y Reserva Nacional Lago Puelo (37.800 ha) en el noroeste de Chubut, conforma un área protegida desde 1937, con dominancia del bosque mixto de coihue (*Nothofagus dombeyi*) y ciprés (*Austrocedrus chilensis*). El régimen térmico es benigno y está condicionado por la altitud, ya que la depresión del lago Puelo yace a unos 200 ms.m. muy por debajo de la mayoría de los lagos sureños. Esto, sumado a altas precipitaciones, permite que en una parte del Parque se encuentre una flora particular con ingresiones de elementos de la selva valdiviana como *Persea lingue* (linge), *Aetoxicon punctatum* (olivillo), *Eucryphia cordifolia* (ulmo), *Dasyphyllum diacanthoides* (palo santo), *Weinmannia trichosperma* (tineo), *Caldcluvia paniculata* (tiaca), *Griselinia scandens* (yelmo), entre otras especies. En el Parque y Reserva existen varias comunidades edáficas, entre las cuales la más extendida es el bosque puro de ciprés asociado a suelos muy pedregosos (Cordón Currumahuida).

## MATERIALES Y METODOS

Para el estudio topoclimático se siguió el método de Enders (1979) de gran utilidad en lugares con insuficiente densidad de estaciones meteorológicas. Esta metodología permite conocer parámetros de relieve y clima que ya ha sido aplicada con diferentes objetivos en el país (Scarpati y Faggi, 1993a y b). Se utilizaron las cartas topográficas Lago Puelo y Río Turbio (1:50.000) del IGM. El área estudiada se subdividió en unidades de malla cuadrada,

de 400 m de lado, según coordenadas de Gauss-Krüger, lo que permitió su ubicación y ordenamiento con facilidad. Se consideraron 736 cuadrículas en la carta Lago Puelo y 832 en la Río Turbio, o sea un total de 1568. Para cada unidad de grilla se calcularon distintos parámetros topográficos (orientación, pendiente, altura) y climáticos (temperatura media mensual, radiación global, balance hidrológico). Se usaron los datos climáticos para el período 1951-1990 de estaciones meteorológicas cercanas al área en estudio: Bariloche aero (41° 09' S; 71° 10' W, 840 m), El Bolsón (41° 56' S; 71° 33' W, 310 m), Esquel aero (42° 54' S; 71° 09' W, 785 m) y Lago Argentino (50° 20' S; 72° 18' W, 222 m).

Se utilizó la distribución de pendientes según las categorías del Soil Survey Manual (USA, 1951).

Para el cálculo de la temperatura media mensual se trabajó con el gradiente vertical mediano de De Fina y Sabella (1959).

La radiación global media se calculó por medio del modelo de Duffie y Beckman (1980), donde para cada unidad de grilla se consideró el grado de pendiente y su orientación.

La precipitación media anual fue obtenida de Cordon *et al.* (1993) y se utilizó Thornthwaite-Matter (1955) para el balance hidrológico. La precipitación relativa mensual se obtuvo de la estación más cercana del Servicio Meteorológico Nacional y también fue corroborada con Cordon *et al.* (1993).

Para estimar el posible cambio global que se puede esperar para el año 2030 se calculó la tendencia de la temperatura mensual por correlación lineal con los registros medios mensuales desde 1955 hasta principios de 1995 para las estaciones Bariloche aero, Esquel aero y Lago Argentino.

La tendencia de la precipitación se calculó con los datos mensuales de Bariloche aero y Esquel aero, las cuales fueron elegidas por su cercanía a la zona en estudio y por contar con datos mensuales actuales. Se calcularon las tendencias mediante una ecuación de cuarto grado y los promedios móviles cada diez años para los semestres frío y cálido. Las tendencias anuales se extrajeron de Quintela *et al.* (1995).

El comportamiento de las especies respecto de las variables climáticas se extrae de la información existente de trabajos anteriores (Faggi, 1994; Faggi *et al.*, 1995) y de la bibliografía existente para Argentina y Chile (Villagrán, 1980; Dezzotti y Sancholuz, 1991; San Martín *et al.*, 1991; Roig, 1995).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Características topoclimatológicas actuales

En el Parque y Reserva (Fig. 1) predominan alturas entre 243 y 842 m s.m. en un 55% de los casos. La altitud oscila entre 199 m del espejo de agua del lago hasta 1872 m, punto más alto del Cordón Derrumbe.

No hay una dirección de pendiente predominan-

te. Mientras que el relieve plano alcanza un 7,8%, encontramos que en un 35,3% de los casos prevalecen las direcciones al norte (N,NW,NE) y en un 33,6 % al sur (S,SE,SW).

En cuanto a la inclinación de la pendiente el rango de 9,9° a 29,9° (pendiente moderadamente escarpada y escarpada) es el más representado (69,5%).

La radiación global media de enero oscila entre

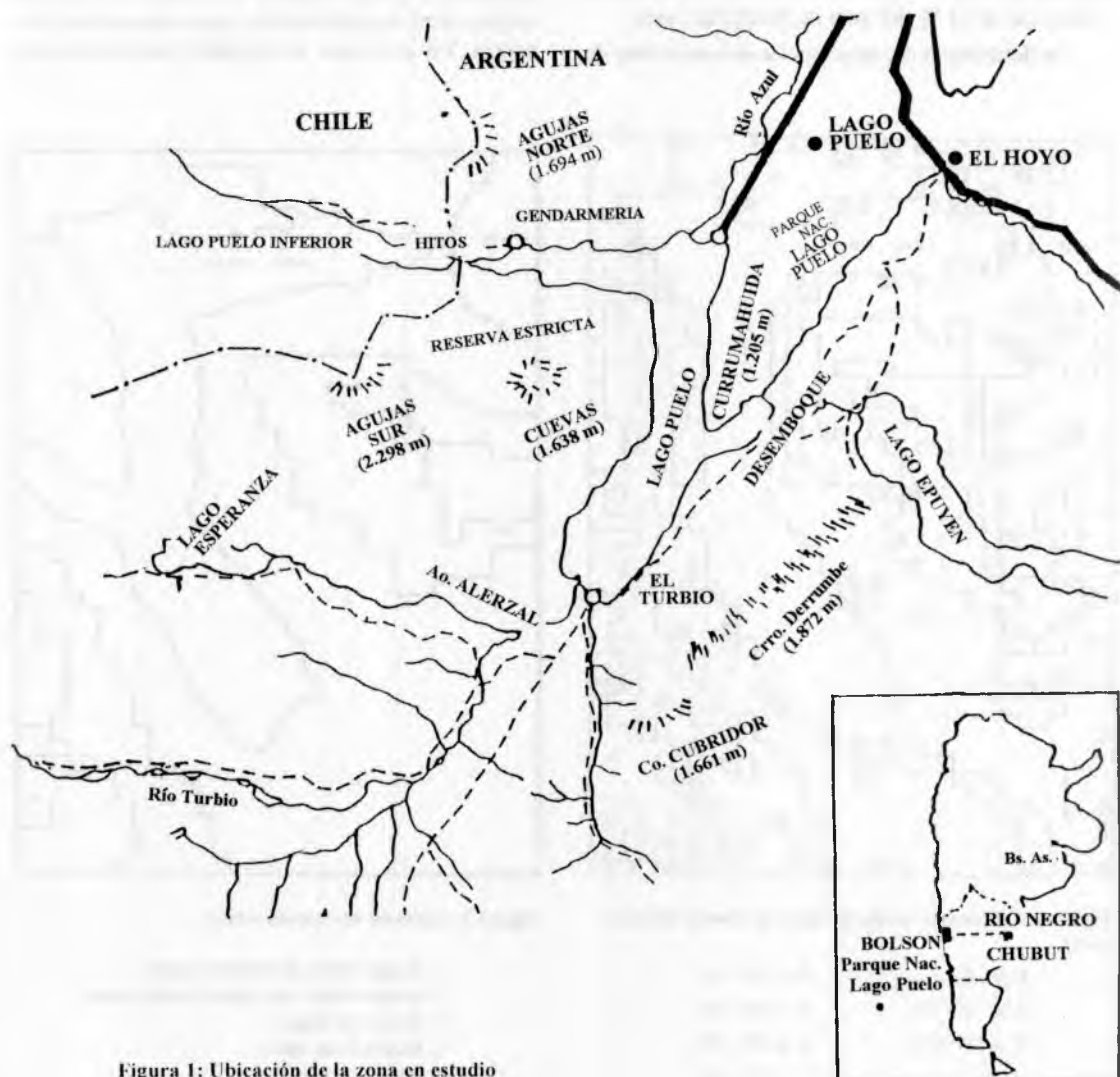


Figura 1: Ubicación de la zona en estudio

400 y 1100 MJ/m<sup>2</sup>. Los valores más altos están ubicados bordeando el lago por el este y el oeste, encontrándose los más bajos en el SE del Parque.

La temperatura media del aire del mes de enero varía entre 8° y 18° C.

Los valores de precipitación media anual tienen distribución altitudinal y longitudinal. En el NE se registran 1250 mm, en el centro y sur 1500-1750 mm y hacia el NW entre 1750 y 2250 mm. El régimen de precipitaciones es mediterráneo, el mes más lluvioso es mayo y la menor precipitación se registra en febrero. Durante el período de octubre a marzo cae el 21 % del total de precipitaciones.

La deficiencia de agua en el suelo en el mes de

enero puede superar los 60 mm, aunque los valores más comunes son de 20-50 mm (Fig. 2). Se puede decir que en julio casi no hay deficiencia y sí puede haber exceso, que llega hasta 290 mm en algunas cuadrículas.

### Vegetación actual

El bosque mixto de coihue y ciprés domina el paisaje desde los 200 ms.m. hasta los 1100 m s.m. sobre suelos bien desarrollados y drenados (Fig.3). Es un bosque tetraestratificado donde el coihue compone el primer estrato. El ciprés se asocia al coihue en el segundo estrato pero con menor presencia. En este área se registran precipitaciones

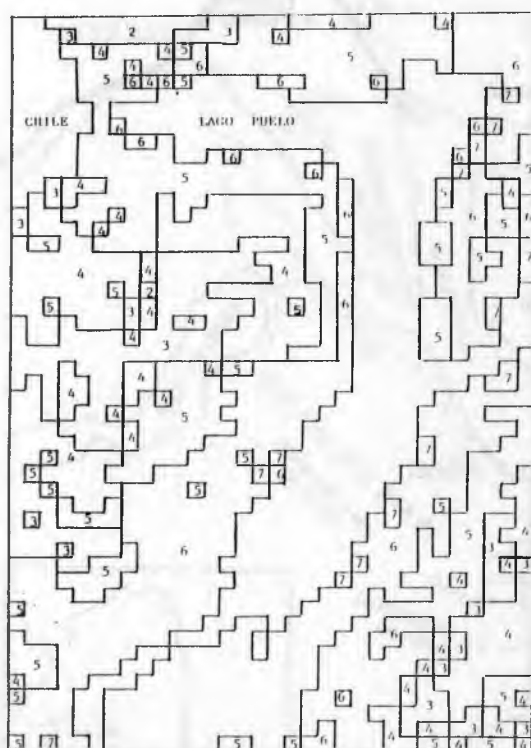


Figura 2: Deficiencia media de agua en el suelo de enero (mm)

- |              |              |
|--------------|--------------|
| 1. = 0       | 4. > 20 < 30 |
| 2. > 0 < 10  | 5. > 30 < 40 |
| 3. > 10 < 20 | 6. > 40 < 50 |
|              | 7. > 50 < 60 |

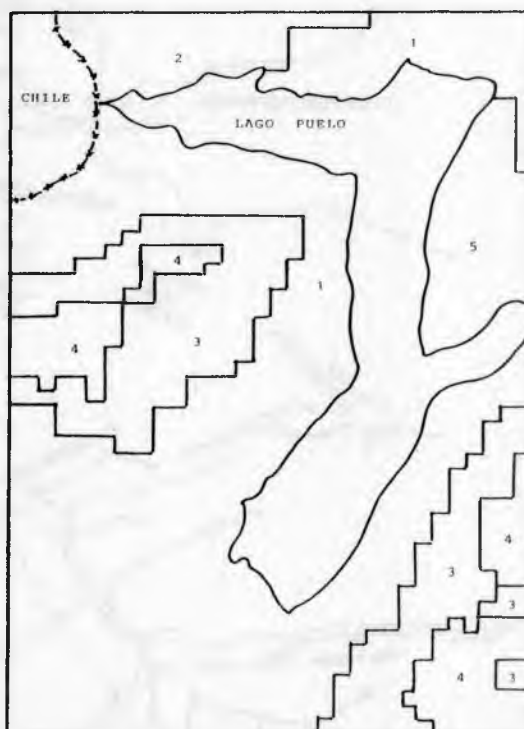


Figura 3: Carta de vegetación actual

1. Bosque mixto de coihue y ciprés
2. Bosque mixto con especies valdivianas
3. Bosque de lenga
4. Pastizales de altura
5. Bosque de ciprés

medias anuales del orden de 1500 mm, las deficiencias de agua anuales varían de 100 a 160 mm con excesos de 1000 mm anuales, la radiación de enero varía entre 820 y 1064 MJ/m<sup>2</sup>. Los registros térmicos de enero oscilan entre 11° y 17° C.

El bosque mixto con especies valdivianas que se extiende en el NW del Parque, cerca de la frontera con Chile, obedece a un mayor régimen pluvial que sobrepasa los 1750 mm anuales. Allí predominan las exposiciones sur. Presenta un grupo de especies características y mayor participación de fanerófitas, helechos, criptógamas y epífitas. Los componentes caméfitos, hemicriptófitos y terófitos (Villagrán, 1980; Faggi y Cagnoni, 1995) se hallan menos representados. Constituye una variante empobrecida del bosque lluvioso valdiviano que se extiende en Chile a partir de los 37° lat S, desde el nivel del mar hasta los 1000 m de altitud, gracias a las abundantes precipitaciones allí reinantes (2000 a 4500 mm) y a temperaturas de verano relativamente altas que favorecen un mayor

crecimiento del bosque (Grau, 1992). En el área estudiada las deficiencias de agua son mayores que cero y menores de 40 mm, los excesos son superiores a 1200 mm anuales. La radiación de enero varía entre 554 y 900 MJ/m<sup>2</sup> y la temperatura para dicho mes oscila entre 12° y 17° C.

Por encima de los 1100 m el bosque mixto es reemplazado por el de lenga (*Nothofagus pumilio*), una especie caducifolia adaptada a las bajas temperaturas. Forma un bosque monoespecífico en el estrato arbóreo, con un escaso estrato arbustivo y herbáceo, que desarrolla hasta los 1500 ms.m. En este bosque la temperatura media de enero varía entre 10° y 13° C, la radiación entre 100 y 400 MJ/m<sup>2</sup> y las deficiencias son mayores a 10 y menores a 40 mm.

#### Probables cambios climáticos en el futuro

Las Figuras 4a y b, 5a y b, 6a y b, confeccionadas con los valores de temperatura media mensual

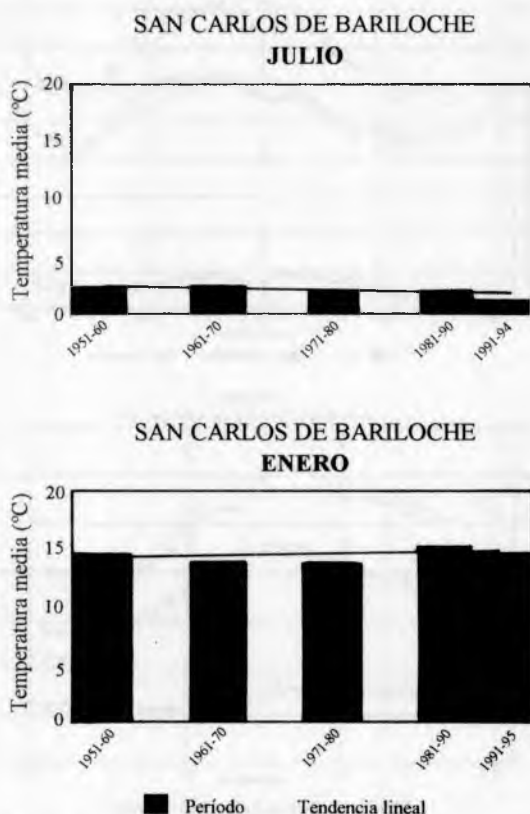


Figura 4: a y b. Tendencia de las temperaturas

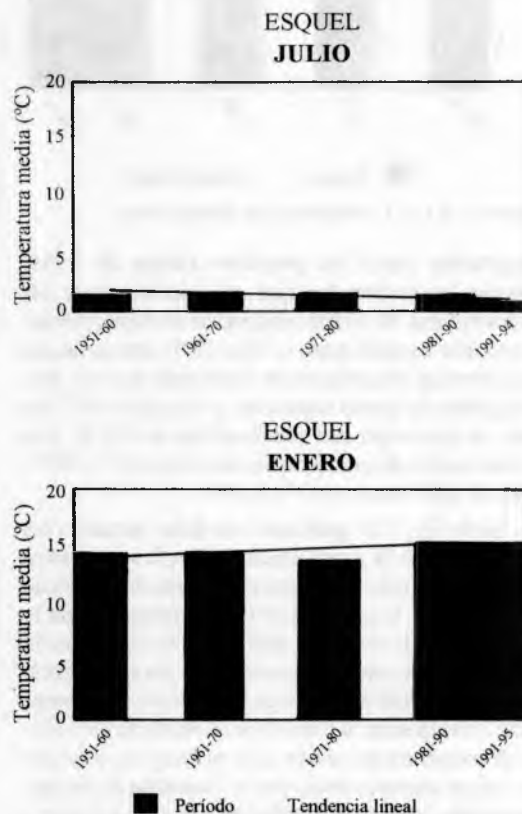


Figura 5: a y b. Tendencia de las temperaturas



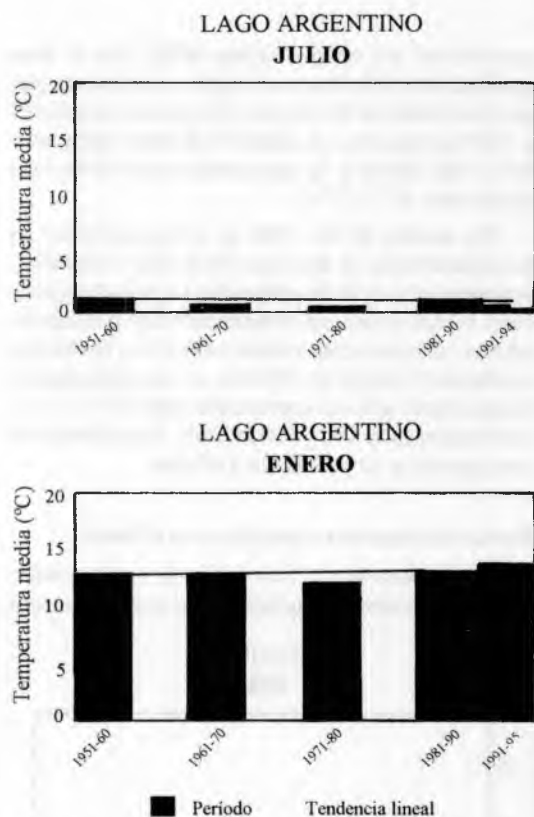


Figura 6: a y b. Tendencia de las temperaturas

registrados hasta los primeros meses de 1995, marcan las tendencias que parecieran seguir las temperaturas. Si dichas tendencias se mantuvieran, es posible esperar para el año 2030 temperaturas superiores a las actuales en el período estival. Así, el registro de enero superaría al actual en 2°C; en julio se preveería una disminución de 1,6°C. Las temperaturas de enero oscilarían entre 10° y 20°C y las de julio entre -4,0° y 2,9°C.

En la Fig. 7 se grafican con datos actuales las tendencias de la precipitación para los semestres cálido y frío, así como para el período anual. Es de destacar, que si se produce una disminución de la temperatura de invierno, dada la latitud y altitud de la zona, aumentaría la cantidad de nieve y habría mayor humedad del suelo en primavera. El aumento de la temperatura estival incrementaría los valores de evapotranspiración. Sin embargo es de esperar mayor consecuencia por el aumento de la precipitación, contrarrestando los efectos del incremento de temperatura en el verano. Así en las Fig. 8

se observa la deficiencia de agua en el suelo para enero, donde vemos que en el NW del Parque aparece el rango "sin deficiencia", que en las condiciones actuales no se halla representado. En la Reserva Estricta los valores de deficiencia de agua serían menores. No así en el cordón Currumahuida y en la zona de camping e Intendencia del Parque. Allí las condiciones se mantendrían como en la actualidad. En el área sureste del Parque se esperaría una disminución no tan marcada de la deficiencia de agua.

### Vegetación potencial

De cumplirse estos cambios climáticos la vegetación debería adaptarse a nuevas condiciones, lo que afectaría paulatinamente la composición y distribución de las actuales comunidades. Debido

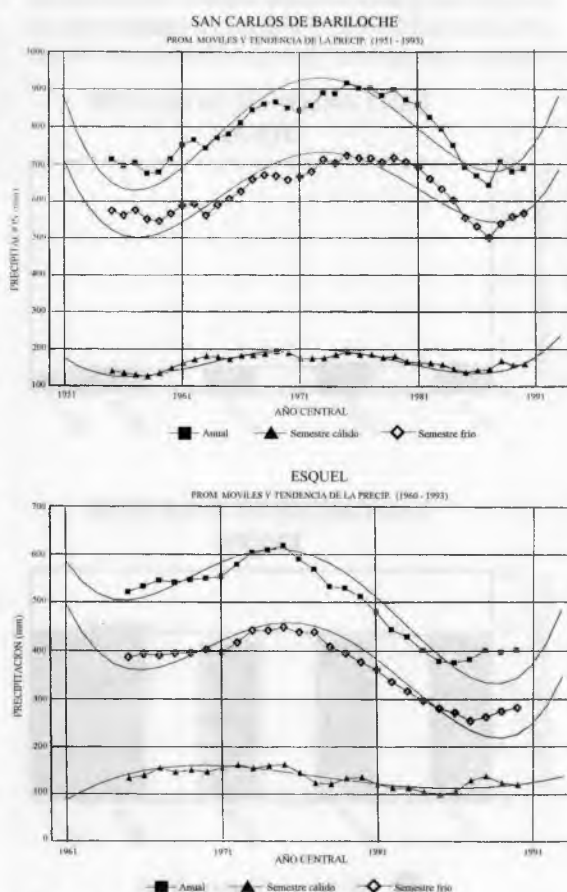


Figura 7: Tendencia de la precipitación

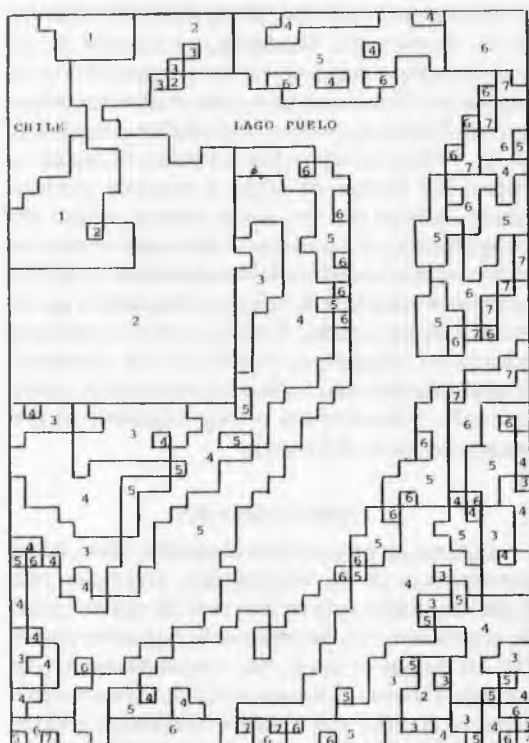


Figura 8: Probable deficiencia de agua de enero para el año 2030 (mm)

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| 1. = 0            | 4. $\geq 20 < 30$ |
| 2. $\geq 0 < 10$  | 5. $\geq 30 < 40$ |
| 3. $\geq 10 < 20$ | 6. $\geq 40 < 50$ |
|                   | 7. $\geq 50 < 60$ |

a que desconocemos con exactitud la amplitud ecológica de las especies, es difícil vaticinar los futuros cambios que se producirían hasta llegar a un nuevo equilibrio. Sin embargo, tentativamente, conociendo los rangos actuales de distribución, podemos decir que en el caso del bosque mixto de coihue y ciprés, éste disminuiría su superficie en favor del mixto con especies valdivianas en el sector norte del Parque y del de lenga en el resto del área (Fig.9). Debido a una mayor humedad se incrementaría la participación del coihue en detrimento del ciprés (Dezzotti y Sancholuz, 1991). Así mismo serían más frecuentes en el estrato arbustivo *Pseudopanax laetevirens*, *Escallonia rubra*, *Chusquea culeou*, enredaderas como *Mitraria coccinea* y helechos como *Polypodium feuillei*, tratándose de componen-

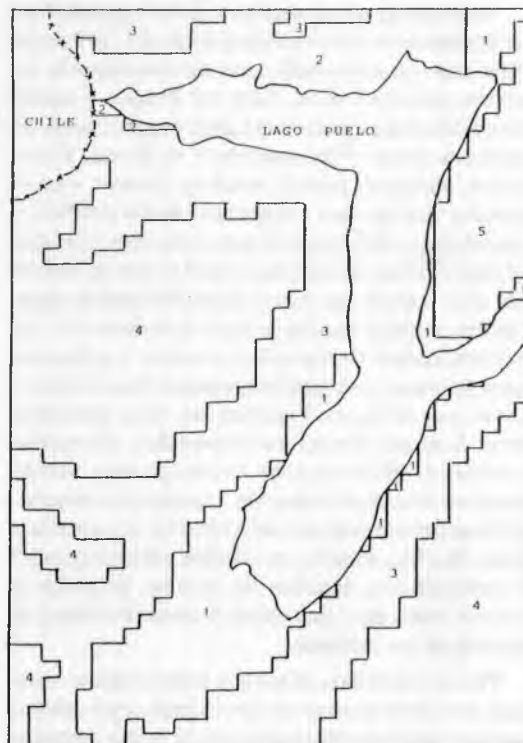


Figura 9: Carta de la vegetación potencial producida por el probable cambio climático global

1. Bosque mixto de coihue y ciprés
2. Bosque mixto con especies valdivianas
3. Bosque de lenga
4. Pastizales de altura, lenga y ñire achaparrados
5. Bosque de ciprés

tes característicos de la variante húmeda actual del bosque mixto (Faggi, 1994). En las áreas cercanas a la costa el bosque mixto actual cedería terreno a la variante edáfica con arrayán (*Myrceugenia exsucca* y *Luma apiculata*) que hoy bordea el lago y la cual podría incrementar su superficie ya que el aporte del agua de deshielo produciría mayores inundaciones por un aumento del nivel del lago en primavera. En la desembocadura del río Turbio se darían las condiciones para un bosque de turbera con *Pilgerodendron uviferum* (ten), *Fitzroya cupressoides* (alerce), *Saxegothea conspicua* (maniú hembra) y *Weinmannia trichosperma* (tineo). En un mayor grado de madurez podría dominar el coihue tal como se lo observa en las márgenes del río Frias, cerca del Pto. Blest (Roig, 1995).

Ante las nuevas condiciones climáticas probables por corrimiento de las isohietas hacia el E, el bosque mixto con especies valdivianas incrementaría la superficie potencial en el norte del Parque. Estarían favorecidas las especies con mayor requerimiento de humedad como *Pilgerodendron uviferum*, *Podocarpus nubigena* (maniú macho), *Drimys winteri* (canelo), *Saxegothea conspicua* (maniú hembra) y *Laureliopsis philippiana* (tepa), elementos comunes del lado chileno. Se incorporaría el alerce en laderas más altas o áreas con fuerte disponibilidad de agua. También podrían asociarse otros helechos a los ya existentes como *Dryopteris spectabilis*, *Lophosoria quadripinnata* y enredaderas como *Cissus striata* y *Elyotropus chilensis*. Especies hoy poco presentes como *Lomatia ferruginea* (romerillo), *Eucryphia cordifolia*, *Weinmannia trichosperma* verían incrementada su participación. Las especies mencionadas se caracterizan por ser tolerantes a la sombra y dentro de ellas, estarían más favorecidas en su poder de colonización, aquellas de semillas pequeñas y livianas como tepa, palo santo y maniú hembra y la mayoría de los arbustos.

Para los dos tipos de bosque anteriormente señalados no cabría esperar un corrimiento según altitud como se espera en otras partes del globo por aumento de temperatura estival, porque a diferencia de éstas en Lago Puelo, según las tendencias, los registros de temperaturas invernales serían menores a los actuales y se constituirían en limitantes.

Es posible que la lenga, especie resistente al frío, hoy presente a partir de los 1100 ms.m., incremente notablemente su superficie. Así descendería en sue-

los bien drenados a menor altura, por la disminución de las temperaturas invernales, en especial en las umbrías aprovechando el efecto compensador de la exposición. Podría asociarse a menor altitud al coihue tal como hoy lo hace en otras zonas andino-patagónicas (Roig, 1995) y formar un bosque mixto. El desplazamiento del bosque de lenga a mayores altitudes estaría limitado por los fuertes vientos, típicos del área patagónica, los cuales se incrementarían aún más en verano por el aumento de la temperatura. Sí, habría una mayor cobertura de la lenga achaparrada que la presente en la actualidad. También el ñire (*Nothofagus antarctica*) achaparrado podría ser más frecuente, ocupando suelos con condiciones extremas de drenaje (suelos hidromórficos o muy esqueléticos) por encima del límite del bosque.

### CONCLUSIONES

En la mayor parte del área el cambio global, como consecuencia de las temperaturas invernales más rigurosas, ocasionaría un descenso de algunos pisos de vegetación. Así, favorecería la expansión potencial del bosque de lenga, hoy medianamente representado. Tanto en el bosque mixto de coihue y ciprés como en el mixto con especies valdivianas podrían aumentar las especies con mayores requerimientos de humedad. En el sector noreste, que es aquel bajo mayor presión humana, el aumento de las temperaturas estivales con altos valores de deficiencia de agua incrementaría aún más el riesgo de incendios, agente destructivo frecuente en la zona (Lopez *et al.*, 1988; Faggi y Cagnoni, 1995).

### BIBLIOGRAFIA

- CORDON, V.H., J.C.FORQUERA Y J.GASTIAZORO. 1993. Estudio microclimático del área cordillerana del sudoeste de la provincia de Río Negro. (Cartas de precipitación). Univ. Nac. del Comahue.
- DE FINA, A. y L. SABELLA. 1959. Cálculo de las temperaturas medias de localidades montañosas carentes de observaciones termométricas. *Rev. Fac. Agr. Bs. As.*, 35, 51 pp
- DEZZOTTI, A. y J. SANCHOLUZ. 1991. Los bosques de *Austrocedrus chilensis* en Argentina: ubicación, estructura y crecimiento. *Bosque* 12(2): 43-52.
- DUFFIE, J.A. and W.A. BECKMAN. 1980. Solar engineering of thermal processes. New York, 300 pp.
- ENDERS. G. 1979. Nationalpark Berchtesgaden. Theoretische Topoklimatologie. *Berchtesgaden Forschungsberichte* :1-92.
- FAGGI, A.M. 1994. La vegetación del Parque Nacional Lago Puelo. *Res. VI Cong. Lat. de Botánica*. Mar del Plata.
- FAGGI, A.M. y M. CAGNONI. 1995. Comparación florística de bosque mixtos de coihue y ciprés afectados por incendios en el noroeste de Chubut". *Res. XVII Reunión Arg. de Ecología*, Mar del Plata.



- FAGGI, A.M., O. SCARPATI y M. CAGNONI. 1995. Los bosques de coihue y ciprés y su relación con factores abióticos en el NW de Chubut (Argentina). *Res. II Congr. Lat. de Ecología*, Mérida, Venezuela.
- GRAU, J. 1992. Clima y distribución geográfica de la Flora de Chile. *Palmengarten. Sonderheft* 19:11-24.
- LOPEZ, J.A., J. DEL C. DIAZ y C. LOPEZ. 1988. Observaciones sobre regeneración natural de especies forestales autóctonas a un año del incendio forestal en el Parque Nacional Lago Puelo, Pcia. de Chubut. *VI Cong. Forestal Argentino*. Sgo. del Estero.
- QUINTELA, R.M., O.E. SCARPATI, L. SPESCHA and A. CAPRIOLO. 1995. The probable impact of global change on the water resources of Patagonia, Argentina (in press).
- ROIG, F.A. 1995. La vegetación de la Patagonia (en prensa).
- SAN MARTIN, C., C. RAMIREZ, H. FIGUEROA y N. OJEDA. 1991. Estudio sinecológico del bosque de roble-laurel-lingue del centro-sur de Chile. *Bosque* 12(2):11-27.
- SCARPATI, O.E. y A.M. FAGGI. 1993a. Topoclimatología teórica en dos predios del noroeste patagónico. *Atmósfera* 17:1-9.
- SCARPATI, O.E. y A.M. FAGGI. 1993b. Topoclimatología teórica: su utilidad en la evaluación de paisajes. *Actas Primeras Jornadas Platenses de Geografía* 2:415-428.
- SOILS SURVEY MANUAL, 1951. Soil Survey Staff. Bureau of Plant Industry, Soil and Agricultural Engineering. Agricultural Research Administration. United States Dep. of Agriculture.
- THORNTON, C.W. and J.R. MATHER. 1995. The water balance. Drexel Institute of Technology, Publication in Climatology, Centerton, N.J., USA. 8 (1) : 1-104.
- UNEP/WMO/ICSU. 1986. Report of the international conference on the assessment of the role of carbon dioxide and other greenhouse gases in climate variations and associated impacts (1985). *WMO* N° 661, Geneva.
- VILLAGRAN, C. 1990. Vegetationsgeschichtliche und pflanzensoziologische Untersuchungen im Vicente Perez Rosales Nationalpark (Chile). *Diss. Bot.* 54, 165 pp., Vaduz.
- WMO, 1994. Climate variability, agriculture and forestry. *Technical note* N° 196, 152 pp. Geneva.